JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	テンプレート追跡による光学タグ認識
Author(s)	田浦，善弘
Citation	
Issue Date	2004-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/504
Rights	
Description	Supervisor:藤波 努，知識科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修士論文

テンプレート追跡による光学タグ認識

指導教官　藤波　努　助教授

審査委員主査　國藤進　教授
審査委員　西本一志　助教授
審査委員　吉田武稔　教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科　知識社会システム学専攻

250034　田浦　善弘

提出年月: 2004 年 2 月

Copyright © 2004 by Yoshihiro Taura

テンプレート追跡による光学タグ認識

田浦　善弘 (250034)
北陸先端科学技術大学院大学　知識科学研究科
2004 年 3 月

キーワード：テンプレート追跡, 光学タグ, ビデオカメラ, 物体識別・位置把握.

人や物体の識別やその位置関係を把握するための光学タグに関する研究が盛んにおこなわれている．これらの研究における光学タグは，一定時間内に光を点滅させることによってビット列を表現しているため, 一定時間はタグを捉え続けなければならない．したがって，光学タグが移動物体に装着されている場合には，光学タグを追跡する必要がある．

本稿では, 光学タグの候補の近傍をテンプレートとして光学タグを追跡及び識別するとともに, そのタグの点灯を除去するソフトウェア的アプローチを提案した．この提案する手法の特徴は, 専用機材を用いることなく移動物体の光学タグを識別及び追跡する点と, 単一ビデオカメラでも光学タグの点滅のない通常映像を取得できる点にある.

今回, 提案した手法を市販品のカメラを用いて実装した．そして, 光学タグを識別することのできる追跡速度やその識別率を計測し, 本手法の評価をおこなった．追跡速度はカメラをサーボモータによるパン・チルト機構で速度制御させ, 屋内環境の事物に設置した光学タグを識別させることで計測した.

その結果, 光学タグとの距離が 4m では, カメラの角速度がおよそ 15[deg/sec] の場合は識別率が高かった．また, 光学タグとの距離を 8m にした場合でも, カメラの角速度がおよそ 10[deg/sec] のときの識別率は高かった．つまり, 光学タグのデコード中に歩行などの移動している対象 (およそ 4km/h) を十分に識別できる性能があることを示している．さらには, 光学タグの点灯が映らない通常映像を得ることも可能であった．ただし, 光学タグとの距離に関わらず, カメラの角速度がおよそ 30[deg/sec] 以上の場合は識別率が低かった．このことは, 至近距離 (2m 未満) で高速で移動する対象や走って移動する対象 (およそ 20km/h) は識別が困難になることを示している.

本研究から, ソフトウェア的処理により市販品のカメラを用いた場合でも光学タグのデコード中に歩行動作などをおこなっている移動物体の光学タグを識別及び追跡できること, 光学タグの点灯を除去した通常映像を取得できることがわかった.

本手法は，既存の光学タグを用いた拡張現実システムやロボットに応用できるだけでなく, カメラ側の小型化も図れるため, ウェアラブル端末や積載重量の少ない小型ロボットに適用することが可能であろう．また，光学タグの追跡処理に基づくために, 実環境下でも特定の身体の動きを計測することが可能なモーションキャプチャリングシステムを安価に構築することも可能である.

Copyright © 2004 by Yoshihiro Taura

Optical Tag Detection using Image Template Tracking

Yoshihiro Taura (250034)
School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology
March, 2004

Keywords： Optical Tag, Template Tracking, Video Camera, Object Recognition and Position Tracking

A number of researches using optical tags have been developed for object recognition and position tracking. The optical tag is an equipment which transmits ID information using the blink pattern of light. The optical tag contains LED and a micro processor. Blinking of light is controlled by the micro processor. When the optical tag is moving, it is difficult to detect ID information. Therefore, it is necessary to track the position of the optical tags for at least two frames of the captured images. We applied the method of tracking and detecting an optical tag using image templates tracking near the tag and removing the lighting of an optical tag. The method has two features. The first feature is to detect and track the optical tags of a mobile object without using special device. Another feature is to capture a scean as an ordinaly camera dose.

We implemented this method using the ordinary camera. We measured the tracking speed of optical tags and the detection rate. As the resault, when the distance of an optical tag and a video camera is 4m and the angular velocity of a video camera is about 15 [deg/sec], the detection rate is 80 %. When the distance of an optical tag and a video camera is 8m and the angular velocity of a video camera is about 10 [deg/sec], the detection rate is 75 %. Furthermore, it is also possible to capture the image in which thelighting of an optical tag is not reflected with a single video camera. In fact, it is shown that there is a performance which can fully detect the moving object (about 4 km/h) during decoding optical tags.

Implementation and evaluation of the method showed that the moving optical tag (in People's walking speed), can be detected and tracked and it can also caputure a scean as an ordinaly camera dose.

The method is applicable to other augmented reality systems or to a robot's camera. It is also applicable to small robots because the miniaturization of a camera can be attained. Since our method is based on tracking processing, it is also possible to apply it to the motion capture device equipments.

Copyright © 2004 by Yoshihiro Taura

目次

第 1 章　　序論

1.1. 背景 1
1.2. 先行研究 3
1.3. 研究目的 6
1.4. 本論文の構成 6

第 2 章　　テンプレート追跡による光学タグ認識手法

2.1. 提案手法 7
2.2. システムの条件 8
2.3. 光学タグ ID 送信手法 9
2.4. 処理の流れ 11

第 3 章　　評価実験

3.1. 本手法の実装 21
3.2. 実験方法 23
3.3. 実験環境 25
3.4. 実験結果 26
3.5. 分析 31
3.6. 追加実験 33

第 4 章　　結論

4.1. 本研究のまとめ 34
4.2. 今後の課題 34
4.3. 今後の展望 36

本研究に関する発表論文 37

謝辞 38

参考文献 39

図 目 次

1.1 オフィスシーン.....1
1.2 NaviCam.....2
1.3 IDCam.....3
1.4 BalloonTag.....4
1.5 赤外線 ID センサシステム.....5

2.1 システムの構成.....8
2.2 光学タグの点滅パターン.....9
2.3 ID プロトコル.....10
2.4 概略処理フロー.....11
2.5 インタレース信号.....12
2.6 光学タグの候補を抽出した状態.....13
2.7 追跡画像の生成.....14
2.8 テンプレート探索領域の設定.....15
2.9 光点軌跡.....16
2.10 光点軌跡の原画像への変換処理.....17
2.11 光学タグのインタレース信号.....12
2.12 点灯除去.....19
2.13 出力映像.....19
2.14 処理フロー 20

3.1 ビデオカメラ.....21
3.2 光学タグ.....22
3.3 カメラを動作させるパン・チルト機構.....23
3.4 対象となる光学タグ.....24
3.5 実験環境 (追跡速度を計測).....25
3.6 実験環境 (最大認識距離を計測).....25
3.7 テンプレート追跡の性能 (水平) 27
3.8 テンプレート追跡の性能 (垂直).....28
3.9 光学タグとの距離と識別率の関係.....29
3.10 入力画像.....30
3.11 出力画像.....,.....30
3.12 赤外線 ID センサシステムと本手法のカメラの比較.....32
3.13 有線カメラ 33
3.14 有線カメラと無線カメラとの識別率の比較.....33

表 目 次

表 3.1　　ビデオカメラの仕様.....22

表 3.2　　追跡実験パラメータ.....24

第1章　序論

1.1. 背景

人間は視覚から様々な情報を得ることができる。たとえば、われわれが図 1.1 を見ると、「目の前には机があり、その机の上にはディスプレイがあって、またその横の通路にはある友人がいる」といった情報を把握することができる。このように、われわれは周囲に存在する人や物体の識別やその位置関係を理解することにより、その友人に話しかけたり、机に向かうこともできる。人間の持つような視覚の機能は、コンピュータにとっても重要である。コンピュータに周囲に存在する人や物体の識別やその位置関係を理解させ、人間の活動を支援する試みは、拡張現実感 (Augmented Reality) やコンピュータビジョン、ウェアラブルコンピューティングなどの様々分野でなされている。

人や物体の識別や位置検出をおこなう方法として、無線通信を応用した無線タグ (RFID タグ) や GPS を用いる方法がある。無線タグを用いる方法は、無線タグの持つ情報を、タグリーダからの電磁誘導により非接触で読み書きをおこない、高速で多くの情報を伝送することができる。既に、この方法を用いて Suica のような定期券などの認証システムが実用化されている。また、この無線タグを床などの環境側に複数貼付して、履き物に取り付けたタグリーダによって読みとり、ユーザの位置を検出するシステムも椎尾らによって提案されている [1]。このように、無線タグは近距離での人や物体を認識する用途においては有効である。しかし、人の視覚に存在する対象を認識したり、位置関係を把握するのは困難である。また、GPS を用いた方法では、GPS 人工衛星からの電波をユーザが所持するデバイスで受信し、電波が発信されてから受信するまでの時間を用いて、人工衛星とデバイスとの距離を計測し、ユーザの位置を検出することができる。既に、ユーザのおおよその位置を検出し、その位置に応じた情報を提供するカーナビゲーションのようなシステムが製品レベルで実用化されている。このように、GPS は屋外にいるユーザの活動を支援するような用途においては有効である。しかし、電波が遮蔽される地下や屋内での利用には適していない。

図 1.1: オフィスシーン

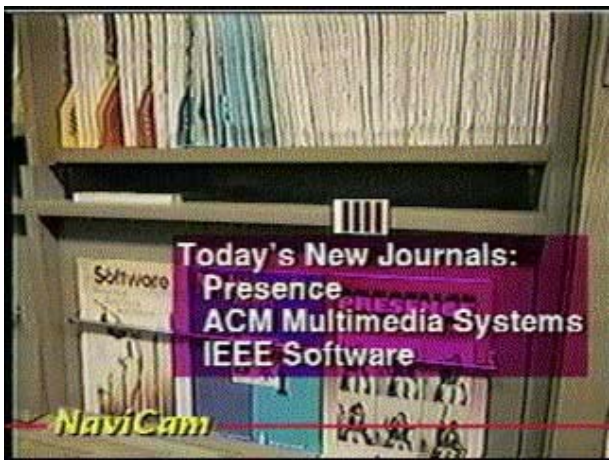


図 1.2: NaviCam

また、テレビのリモコンのような赤外線通信技術を用いる方法もある。たとえば、Active Badge システム [2] は、ユーザが身に付けた付けた赤外線入出力装置と、その装置が各部屋に備え付けられた赤外線センサと通信することにより、常にユーザがどの部屋にいるのかを把握することができる。赤外線通信は部屋単位の屋内環境での対象認識とその位置検出の用途においては有効である。しかし、物体認識と位置検出の精度を向上させる場合は、多数のデバイスをあらかじめ環境に埋め込む必要があり、設置コスト及び維持コストが増大する。

人間の視覚から得ることができる対象の位置関係に関しては、これらの方法を用いても、周囲に存在する人と人、人と物体という距離では把握することは困難である。この問題を解決する方法として、2 次元バーコードを人や物体に取り付け、カメラでそれを読み取る方法も提案がされている。暦本らの NaviCam[3] は、ユーザの携帯しているデバイスに取り付けられたカメラで周囲に存在する事物に貼り付けられている 2 次元バーコードを撮影する。そして、その 2 次元バーコードの位置やバーコードにエンコードされている情報から、バーコードが貼り付けられている事物の識別や位置関係を把握するこができる。このため、ユーザの見ている事物に応じて、2 次元バーコードから読み取ることができた情報を付加的情報として人に提示することができる (図 1.2)。

そこで、2 次元バーコードのように色の空間パターンに ID 情報などの各種データをエンコードするのではなく、時系列の点滅パターンにエンコードすることができる光学タグに関する研究が盛んにおこなわれている [4-7]。光学タグを用いると、カメラと光学タグとの距離が離れた場合でもタグの光は減衰しにくいため、カメラで撮像することができる範囲に存在する人や物体の識別や位置関係を把握することが可能である。また、光学タグの点滅信号も人間の目に知覚されない赤外線を用いることで、周囲の景観への影響を抑えることもできる。

以上のことから、光学タグは人間の視覚から得ることができる範囲の対象の識別や位置関係を把握する手段として有効である。

1.2. 先行研究

前節で述べたように、２次元バーコードのように色の空間パターンにID情報などの各種データをエンコードするのではなく、時系列の点滅パターンにエンコードすることができる光学タグに関する研究が盛んにおこなわれている [4-7]。人や物体の識別と位置関係を把握する方法として光学タグを用いることでいくつかの利点が生じる。たとえば、光学タグが貼付されている人や物体との距離が離れた場合でもタグの光は減衰しにくいため、人や物体の識別や位置関係を把握することができること。また、光学タグの点滅信号も人間の目に知覚されない赤外線を用いることで、周囲の景観への影響を抑えることも利点として挙げられる。

しかしながら、これらの研究における光学タグは、一定時間内に光を点滅させることによってビット列を表現しているため、その一定時間はタグを捉え続けなければならない。したがって、光学タグが移動物体に装着されている場合には、光学タグを追跡する必要がある。

そこで、本節では光学タグを用いたシステムと光学タグを追跡するための従来のアプローチに関する先行研究について紹介する。

• IDCam

松下らは、人の見ている事物に応じて情報を提示する拡張現実システム (Augumented Reality) 分野での利用を目的としたIDCam(図 1.3) を提案している [4].IDCamは、高速にサンプリング可能なイメージセンサを利用することで空間解像度をもち遠距離からでも光学タグのIDを識別することができる。また、大、小の光学タグを用いることにより、屋内外での利用ができることを確認している。このシステムは開発段階ではあるが、屋内外にある様々な照明やディスプレイを光学タグとして用いることも想定している。

また、光学タグの追跡を不要にするためのアプローチとして、対象物体の移動速度に対して十分に高速な光の点滅と、これを捉えることのできる高速な専用カメラを使用している。

図 1.3: IDCam

・BalloonTag

青木は ID 送信・認識システム BalloonTag(図 1.4) を提案している [5]。BalloonTag は、システムと同期せずに点滅する光学タグを光学フィルタをつけた普通のカメラを用いて識別することが可能なシステムである。また、BalloonTag は５つの光源を配置しており、タグ自身が光源の配置間隔を送信することによって、複数のタグが受信機に面している場合でもどちらが離れているかといった距離情報をも認識することができる。

また、光学タグの追跡のアプローチとして、タグの配置形状を利用している。まず、配置形状 (ひし形の光) を検出する。そして、ひし形の配置形状を検出されると、直近の映像フレームひし形があった領域を対応付け、光学タグの追跡をおこなっている。

図 1.4: BalloonTag

・赤外線 ID センサシステム

伊藤らは、特定の人や事物とのインタラクションをビデオサマリとして記録するシステムとして赤外線 ID センサシステム (図 1.5) を提案している [6]。このシステムは、赤外線を用いた光学タグと赤外線のみを検出するために光学フィルタをつけた高速にサンプリングが可能なイメージセンサを用いている。そして、人や事物に貼付した光学タグを識別し、その対象認識や位置検出をおこなう。さらに、光学タグ検出用カメラと同じ光軸上に設置してあるカラーカメラを用いることで、人や事物とのインタラクションを記録することができる。

また、光学タグを検出するセンサとインタラクションを記録するためのカメラを分離することにより、設置型と着用型といった利用形態に応じた構成での利用を可能にしている。

また、光学タグの追跡を不要にするためのアプローチとして、対象物体の移動速度に対して十分に高速な光学タグの点滅と、これを捉えることのできる光学フィルタをつけた高速な専用カメラを使用している。

図 1.5: 赤外線 ID センサシステム

このように、光学タグを追跡するための従来のアプローチは大きく二つに分けることができる。一つは、光学タグの追跡を不要にするためのアプローチとして、対象物体の移動速度に対して十分に高速な光の点滅と、これを捉える高速な専用カメラを使用するもの。もう一つは、光学タグの追跡をおこなうためのアプローチとして、光学タグの配置形状を利用するものがある。前者の場合では、専用機材によるシステムの煩雑化、高コスト化につながりかねない。後者の場合は、光学タグの識別は光学タグの配置形状に依存するため、その形状を識別できないような想定範囲外にある光学タグの識別は困難である。このため、本研究では光学タグ近傍を用いて追跡をおこない、市販されているカメラでも光学タグを識別することができるソフトウェア的アプローチを提案する。

また、追跡以外に生じる光学タグに関する課題としては、ビデオカメラ１台で光学タグの識別と通常映像を撮像する場合は、光学タグの点滅がそのまま映像に記録されてしまうことが挙げられる。ビデオサマリのように映像を記録するような用途によっては、この映像における光学タグの点滅は目障りとなる。しかしながら、着用端末としてシステムの小型化を図るためには、カメラ１台でも光学タグの識別と通常映像を撮像することができる手法が必要である。本研究では光学タグの点滅における消灯しているときの画像情報に着目し、光学タグの点灯が撮像されない映像を取得するための手法も提案する。

1.3 研究目的

前節で述べたよう問題を解決し、汎用性の高い物体・位置識別システムを実現するために、本研究では、光学タグの候補の近傍をテンプレートとして光学タグを追跡及び識別するとともに、その光学タグの点灯を除去するソフトウェア的アプローチを提案する。

この提案する手法の特徴は、まず、専用機材を用いることなく移動物体の光学タグを識別及び追跡することが挙げられる。このため、システムを簡素化し、コストを削減することができる。次に、光学タグの追跡及び識別に光学タグの近傍をテンプレートとして利用しているため、光学タグの配置形状に依存しないことが挙げられる。このため、配置形状を識別できないような距離からでも光学タグを識別することができる。また、単一ビデオカメラでも光学タグの点滅のない通常映像を取得することができることも特徴として挙げられる。映像をビデオサマリとして記録するシステムや人の見ている事物に応じた付加的情報を提示するシステムのように、光学タグの点滅が目障りになる場合などに利用することができる。さらに、従来の方法のように光学タグを撮像するためのカメラと光学タグの点滅が撮像されない通常映像を取得するための光学フィルタを付けたカメラを２台用いる必要がないため、着用端末としてシステムの小型化を図ることもできる。

本手法は、既存の光学タグを用いた拡張現実システムに応用できるだけでなく、必ずしも専用機材を必要としないことから、既にロボットに実装されているイメージセンサなどに適用することができる。現在の画像処理技術などによるロボット制御では、人間の生活環境に存在する様々な対象物を識別するまでには至っていない。そこで、本手法をロボットのイメージセンサに適用し、光学タグを装着した対象物を識別及び追跡することにより簡便なロボットの物体・位置識別システムを構築することができる。さらに、カメラの小型化も図れるため、積載重量の少ない小型移動ロボットなどのイメージセンサにも適用することが可能であろう。また、光学タグの追跡処理に基づくために、実環境下でも特定の身体の動きを計測することが可能なキャプチャリングシステムを安価に構築することも可能である。

1.4. 本論文の構成

本論文は本章を含め全５章により構成される。まず, 第２章では、本研究の背景や先行研究との比較をおこない、本研究の目的を述べる。第３章では、提案手法の説明とシステムの構成法について述べて, 処理の流れを詳述する。第４章では、評価実験の方法やその結果について述べて、本手法について考察する。

最後に、第５章で本研究のまとめと今後の課題、今後の展望について述べる。

第2章　テンプレート追跡による光学タグ認識手法

本章では、前章で述べた問題を解決し、汎用性の高い物体・位置識別システムを実現するためのテンプレート追跡による光学タグ認識の手法について述べる。最初に手法の概要を説明し、提案手法のシステム条件、具体的な処理の流れについて説明する。

2.1. 概要

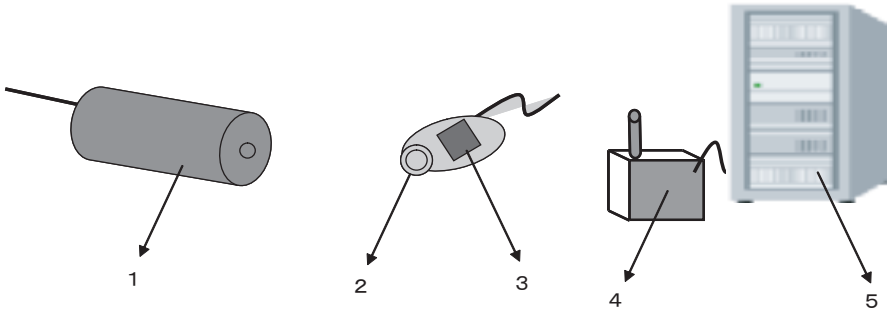
前章で述べた問題を解決し、汎用性の高い物体・位置識別システムを実現するためには、専用カメラやタグの配置形状を用いることなく光学タグを追跡及び識別する必要がある。このような光学タグの追跡及び識別をおこなうためには、フレーム間での情報変化の少ない光学タグの近傍情報を用いることが有効な手段として考えられる。本手法は、この近傍情報をもとに光学タグの追跡及び識別をおこなう。本手法に必要な処理を以下に記す。

- 光学タグの抽出処理
- 追跡処理をおこなうための追跡画像の生成
- 光学タグの近傍をテンプレートとした追跡処理
- 光学タグの識別をおこなうためのデコード処理
- 光学タグの点灯除去をおこなう処理

以上のような手法により、光学タグのデコード中に光学タグが移動しても ID 情報を取得すること、目障りな光学タグの点滅をなくした映像を取得できる。そして、前章で述べた問題を解決すること、汎用性の高い物体・位置識別システムを実現することが可能となる。次節から、本手法に関する具体的な説明をおこなう。

2.2. システムの条件

本手法には、光学タグと光学タグの点滅を撮像するビデオカメラ、ビデオカメラからの画像を処理するための計算機が必要である (図 2.1)。光学タグは LED とその点滅を制御するための点滅制御ユニット (マイコン) によって構成され、個々の光学タグが異なる ID を発信することができる。このため、この光学タグを環境に設置すれば、様々な対象をユニークに識別することが可能となる。また、従来の研究では、光学タグに赤外線 LED を用いる場合 [5、6] と、可視光 LED を用いる場合がある [4] が、本方式は、そのどちらかに依存するわけではなく、可視画像と光学タグの点滅が同時に取得することができるビデオカメラと光学タグの組合せのみで十分である。最も単純な組合せは、光学タグ (可視光 LED) とビデオカメラという組合せであるが、ビデオカメラ側に赤外カットフィルタがついていない場合は、光学タグ (赤外線 LED) と赤外カットフィルタの付いていないビデオカメラ (市販品のビデオカメラでも赤外線を撮影できることが多い) の組合せでも利用できる。本研究の実装環境 [4.1.「本手法の実装」参照のこと] では赤外線カットフィルタがついていない小型無線カメラである (株) アールエフ製 TINY-3H と光学タグに赤外線 LED を用いている。



1．ビデオカメラ
2．光学タグのLED（赤外線LED）
3．光学タグの点滅制御ユニット（マイコン）
4．ビデオカメラ画像受信機
5．計算機

図 2.1: システムの構成

2.3. 光学タグ ID 送信手法

この節では、光学タグの ID 送信手法について述べる。最初に光学タグの点滅パターンについて説明し、その後に光学タグのプロトコルについて説明する。

2.3.1. 光学タグの点滅パターン

光学タグは点滅制御ユニット (マイコン) が ID をエンコードし、LED を点滅させている。この光学タグの点滅パターンは 3 種類存在する。それは、連続する点灯と点灯、点灯後消灯、消灯後点灯である。そして、連続した点灯を ID のはじまりを示すスタートビットとする。そして、点灯後消灯及び消灯後点灯を用いて ID 情報を表現する。ここで，点灯後消灯がある情報，例えば 0 をあらわすとすると，消灯後点灯はその反対の情報，例えば 1 を表現しているものとする. また、光学タグの点滅のタイミングは、ビデオカメラがサンプリングすることができるフレームレート数に対して 1 / 2 に設定する (図 2.2)。このタイミングで点滅することによって、ビデオカメラのサンプリングと光学タグの点滅のタイミングが同期していなくても、ID 情報を送信及び受信することが可能となる。

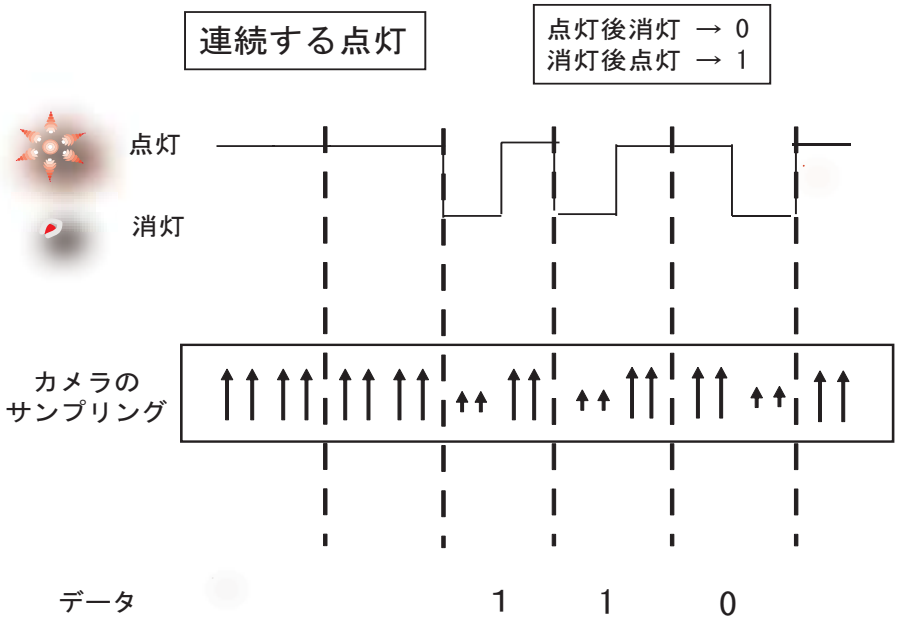


図 2.2: 光学タグの点滅パターン

2.3.2. 光学タグのプロトコル

光学タグのプロトコルのフォーマットは、スタートビット、チェックサム用ビット及び ID ビット (8bit) によって構成する (図 2.3)。このスタートビットは、一定期間内に光を連続して点灯させることによって表現する。そして、このスタートビットは、ID ビットの信号のはじまりを検出するときに利用することができる。チェックサム用ビット及び ID ビットは、光の点灯後消灯を０、消灯後点灯を１とするマンチェスタ符号化方式で表す。このチェックサム用ビットは、ID データのエラー検出に利用する。たとえば、ID ビット列にある 1 の合計が偶数のときには 1、奇数の場合は 0 とするビットを設定する。そして、ノイズなどの影響により、ID ビット列にあるデータの 1(消灯後点灯) が 0(点灯後消灯)、もしくは 0 が 1 として検出されてしまうと、ID ビット列にある 1 の合計数が１つずれる。このように、ID ビット列のデータにノイズが生じるとチェックサム用ビットの偶奇とは一致せず、データの誤りを検出することができる。

図 3.3 に例として示した ID が 159 の場合では、ID ビット列 [1 1 1 1 1 0 0 1] にある 1 の合計は 6 であるため (偶数)、チェックサム用ビットを 1 に設定してある。そして、ビット列のデータにノイズが生じて ID ビット列 [0 1 1 1 1 0 0 1] となってしまった場合には、1 の合計が 5(奇数) となるためエラーを検出することができる。また、このチェックサムでは、エラーの数が２つ以上の場合ではエラー検出することができないが、エラーが２つ以上生じる確率は低いため、このチェックサムでも十分な信頼度がある。

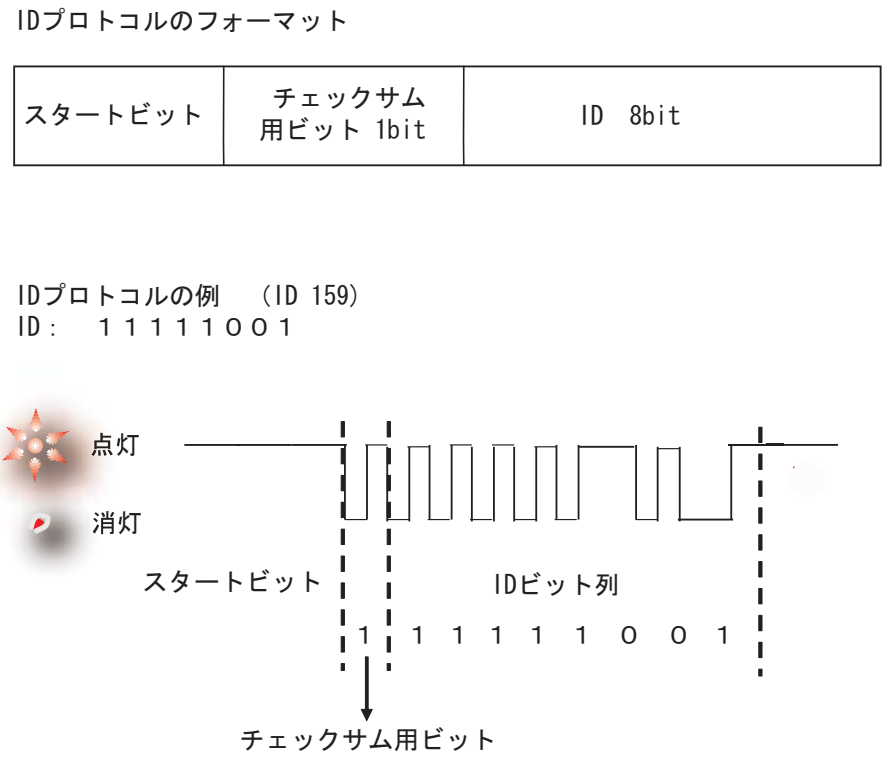


図 2.3: ID プロトコル

2.4. 処理の流れ

この節では、本研究で提案しているテンプレート追跡による光学タグ認識をおこなうための処理の流れについて説明する。最初に処理の概略を説明し、その後に具体的な処理の内容について説明する。

2.4.1. 処理の概略

処理の流れを図 2.4 に示す。まず、前処理としてビデオカメラの信号がインタレース信号である場合はインタレースを解除した映像を取得する [2.4.2. 前処理]。次に、ビデオカメラからキャプチャされる原映像から 2 値画像群を生成し、光学タグ候補とする領域を抽出する [2.4.3. 光学タグの候補の抽出]。そして、光学タグの点滅周期において点灯を含む最小フレーム数毎 (マンチェスター符号方式ならば 6 フレーム) にグレースケール化した画像の平均をとり、追跡画像を生成する [2.4.4. 光学タグ追跡画像の生成]。次に、この抽出された光学タグ候補の近傍のテンプレートを生成し [2.4.5. テンプレートの生成]、次の追跡画像での探索領域内の対応点を求める [2.4.6. 探索領域の設定]。このとき、単純なマッチングによる誤対応を回避するために、対象領域内の各タグ候補に対する次画像のタグ候補との類似度を算出し、類似度が最大となるタグ候補の組を対応させる [2.4.7. 光学タグ候補の追跡処理]。

このように追跡画像のタグ候補の近傍情報を用いて、光学タグ候補を追跡する。そして、連続する原画像の点滅情報からデコードをおこない、ID 情報の組み立てに成功したものを光学タグと同定する [2.4.8. 光学タグのデコード処理]。また、光学タグの点滅の状況から、最も時間的に近い消灯している状態の領域の画像を置換し、光学タグの点灯を取り除く [2.4.9. 光学タグの点灯除去]。

以上の方法により、デコード中にカメラが移動しても光学タグの情報を取得すること、目障りな光学タグの点滅をなくした映像を取得することが可能となる。

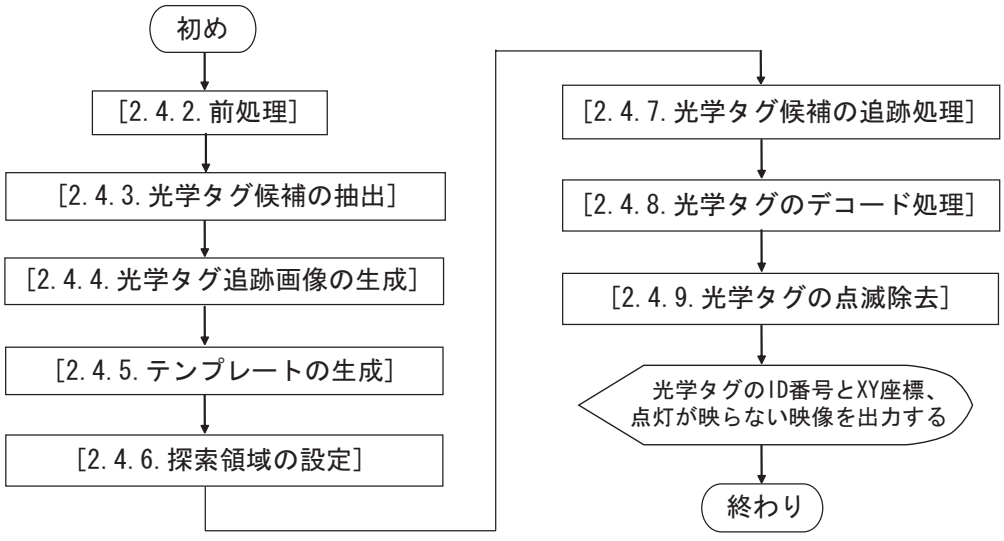


図 2.4: 概略処理フロー

2.4.2. 前処理

ビデオカメラからキャプチャされる映像信号がインタレース信号である場合 (例えば、DV カメラのフォーマット: インタレース信号、720 × 480[pixel]、29.97 [frame per second])、1 つの画像フレームは水平方向の偶数番目と奇数番目のスキャンラインからなる 2 つのフィールド含まれている。これらのフィールドは、フレーム周期の半分の周期で交互に書き換えられて再生されている。また、光学タグは１秒間に３０回以上の周期で点滅させることによって ID 情報を表現している。そのため、光学タグの点滅をキャプチャした場合には、あるスキャンラインには光学タグの光が撮像されているが、その下のスキャンラインには光学タグの光が撮像されていないというような画像が生じてしまう。このような画像からは、どのタイミングで光学タグが点灯しているのか、消灯しているのかを区別することは困難である。

そこで、インタレース走査されたフレームを利用して、スキャンラインの偶数列と奇数列を交互に分けて 2 枚の画像に分割することで、光学タグがどのタイミングで点灯しているのか、消灯しているのかを区別することができる。さらに、2 倍の時間解像度 (DV カメラ: 59.94 [frame per second]) を持つ画像データを取得することが可能になる。ただし、1 ライン分の位置ずれが起こることに注意する必要がある。また、垂直方向の解像度が半分になるため、原映像と同じ縦横比にするためには、水平方向に対して 2 倍のダウンサンプリング (縮小処理:360 × 240[pixel]) もしくわ垂直方向に 2 倍のアップサンプリング (拡大処理) をおこなう必要がある。しかし、この程度の処理をおこなったとしても、カメラからキャプチャされる映像として問題になることはない。

ビデオカメラからキャプチャされる映像信号がインタレース信号ではない場合はこの処理を省略しても良い。今後，ビデオカメラから取得できるフレーム数をＦＰＳ数 (frame per second) と呼ぶ。

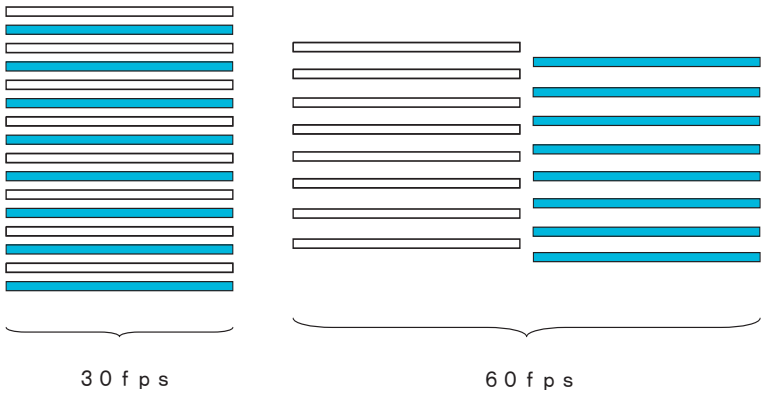


図 2.6: インタレース信号

2.4.2. 光学タグ候補の抽出

ビデオカメラから撮像される原映像 (図 2.5) から光学タグ候補の抽出をおこなうため、光学タグの輝点が残る閾値によって閾値処理をおこない 2 値化を施す。光学タグの点灯は輝度が十分に高いため、輝点として区別することができる。しかし、環境の照明条件やビデオカメラの性能などにより、光学タグ以外の輝点が検出される場合が生じる。このため、閾値を状況に合わせて変更する必要がある。このように 2 値化をおこなった画像から光学タグ候補を抽出するために、検出された輝点を上下左右の近傍に連続している輝点を連結させる。そして、一様な輝点として見なすことができる領域を光学タグ候補として抽出する (図 2.6)。また、各光学タグ候補領域の XY 座標の最大・最小値、高さや幅など情報リストを作成する。

このようにして得られた大小さまざまな光学タグ候補のうち、極端に小さい点 (例えば 1 画素) をノイズとして除去する。また、極端に大きな点や形状が異なる点 (例えば高さと幅の割合が極端に異なる点) も蛍光灯などの光学タグ以外の発光である可能性が高いので除去する。

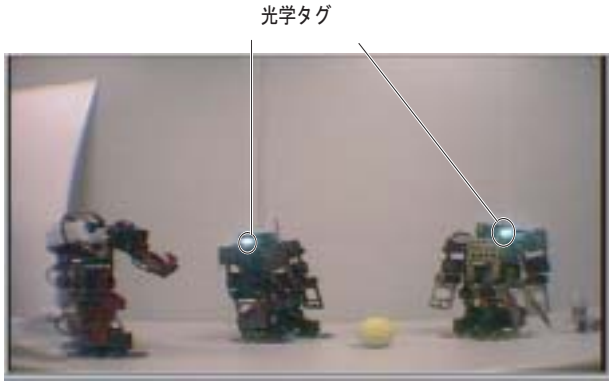


図 2.5: 原映像

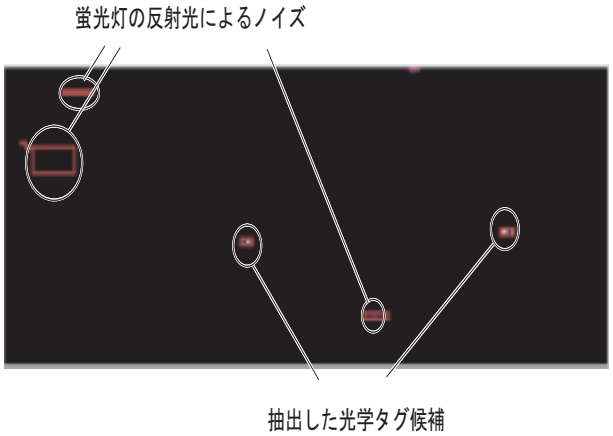


図 2.6: 光学タグの候補を抽出した状態

2.4.3. 光学タグ追跡画像の生成

光学タグは、一定時間内に光を点滅させることによってビット列を表現するしている. このため、ある画像で光学タグ候補が抽出されたとしても、次の画像ではその光学タグ候補は存在していない可能性があり、光学タグ候補を追跡することは簡単ではない。

そこで、まずビデオカメラから撮像される原映像に対して、輝度値 (0〜255) のグレースケール化処理を施す。その後、光学タグの点滅周期において点灯を含む最小フレーム数毎 (マンチェスター符号方式ならば 6 フレーム) にグレースケール画像の平均値または最大値を用いて、解像度が同一の 1 枚の画像を生成する (図 2.7)。このように、光学タグが必ず存在している画像を生成することにより、光学タグの追跡をおこなうことができる。この光学タグの点灯を含む最小フレーム数毎の画像から生成した 1 枚の画像を追跡画像と呼ぶ。

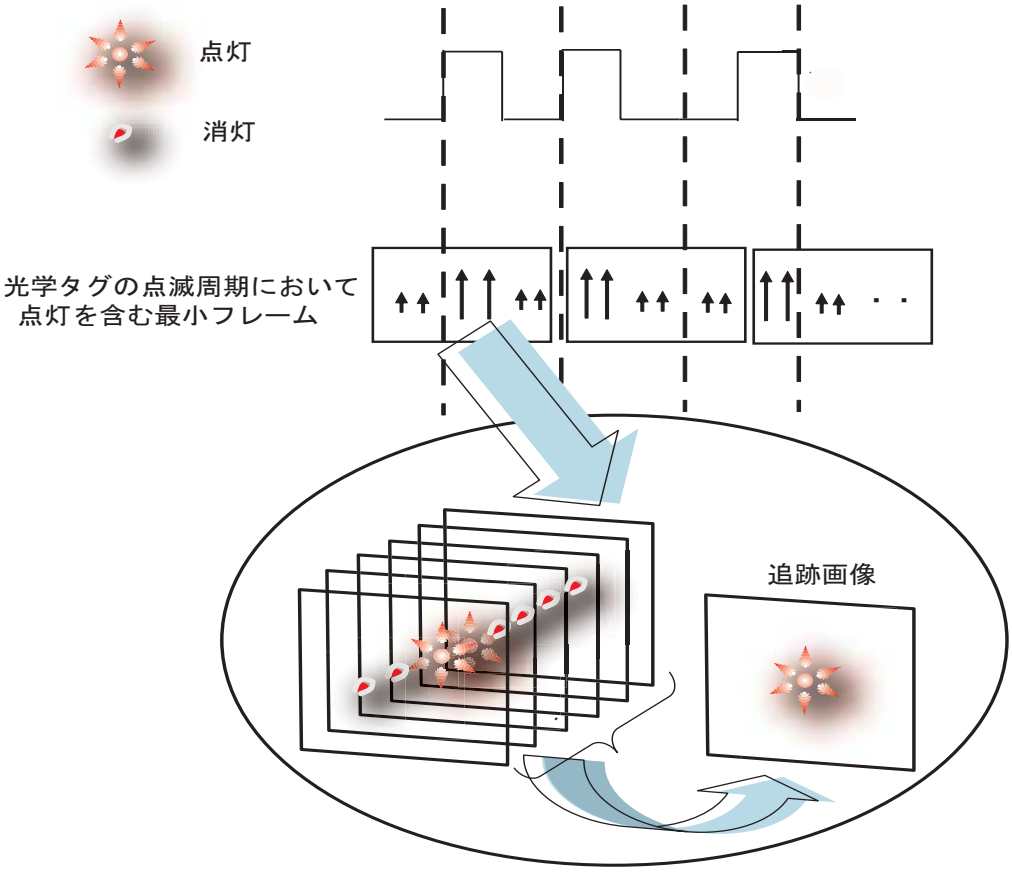


図 2.7: 追跡画像の生成

2.4.4. テンプレートの生成

追跡画像に光学タグ候補が複数存在する場合には、光学タグ候補の大きさや形状だけでは追跡をおこなうことは困難である。そこで、光学タグ候補の近傍情報を用いたテンプレートを生成し、光学タグ候補の追跡をおこなう。このテンプレートを生成するために、2 値化処理により抽出された光学タグ候補の情報リストから、光学タグ候補を包み込む長方形をそれぞれの光学タグ候補に設定する。そして、その長方形の座標リストを追跡画像に変換し、その光学タグ候補の長方形を含むある大きさの領域 (例えば、長方形と同形状、同大の長方形を 1 コマとする 8 近傍) を近傍のテンプレートとして生成する (図 2.8)。

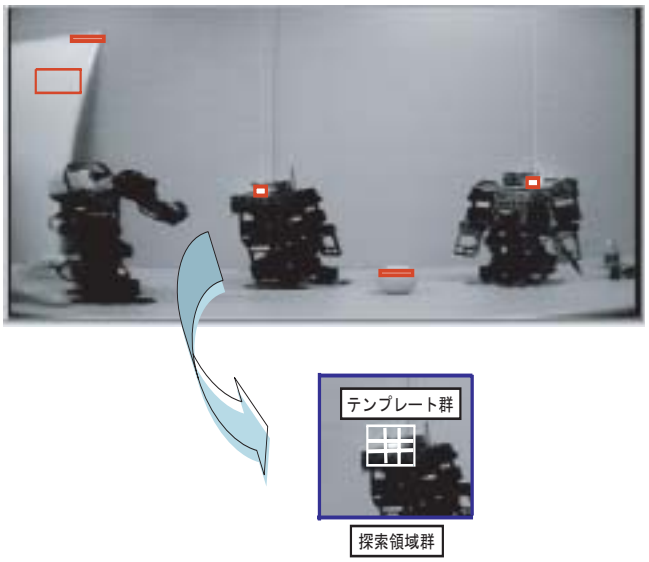


図 2.8: テンプレート・探索領域の設定

2.4.5. 探索領域の設定

探索領域は、追跡画像に生成した光学タグ候補のテンプレートの大きさに比例した範囲の領域に設定する (図 2.8)。つまり、次追跡画像では、前の追跡画像で生成したテンプレートの位置を中心とするテンプレートの大きさに比例した局所的な領域 (例えば、テンプレートと同形状，同大の長方形を 1 コマとする 8 近傍) を探索領域として設定する。また、探索領域内の画像を適当なサイズのブロック (例えば、光学タグまでの距離が 2〜3m のときに抽出される光学タグ形状の 5 × 5[pixel] 程度に合わせる) に分割して平均化処理をおこなう。

このように探索領域を局所的な領域として設定することや探索領域内の画像の平均化処理をおこなうことで、追跡処理での計算量を低減することができる。

2.4.6. 光学タグ候補の追跡処理

光学タグ候補の近傍のテンプレートと探索領域を求めたら、光学タグ候補が次追跡画像のどの光学タグ候補と対応するのか決める処理をおこなう。光学タグ候補の対応関係は前追跡画像で生成したテンプレートと次追跡画像の探索領域内における画像との類似度 (輝度値の平方和) を計算し、類似度が最大となる画像をマッチングさせることによって決定される。このとき、単純なマッチングでは追跡画像の光学タグ候補 P を類似度が最大となる次追跡画像の光学タグ候補 Q に対応させる。しかしそれでは 2 つの光学タグ候補 P、P ′が同一点 Q に対応したり、また Q に対しては光学タグ候補 P で類似度が最大になるとは限らない。そこで、探索領域内の各光学タグ候補に対する次追跡画像の光学タグ候補との類似度を算出し、類似度が最大となる光学タグ候補の組 (P*、Q*) を対応させる。そして、光学タグ候補の組 (P*、Q*) を削除して得られる光学タグ候補同士を対応させる。このようなマッチングをおこなうことで、誤った光学タグ候補に対応してしまうことを防ぐ。また、光学タグ候補が次追跡画像においてどの光学タグ候補とも対応しない場合は、その光学タグ候補を無視する。

このような追跡処理で対応づけされた光学タグ候補の中心 XY 座標、高さと幅などの情報をリストとして保持する。この情報リストは光学タグの ID 情報のデコード処理に用いる。今後、この光学タグ候補の中心 XY 座標、高さと幅の情報のリストを光点軌跡と呼ぶ (図 2.9)。

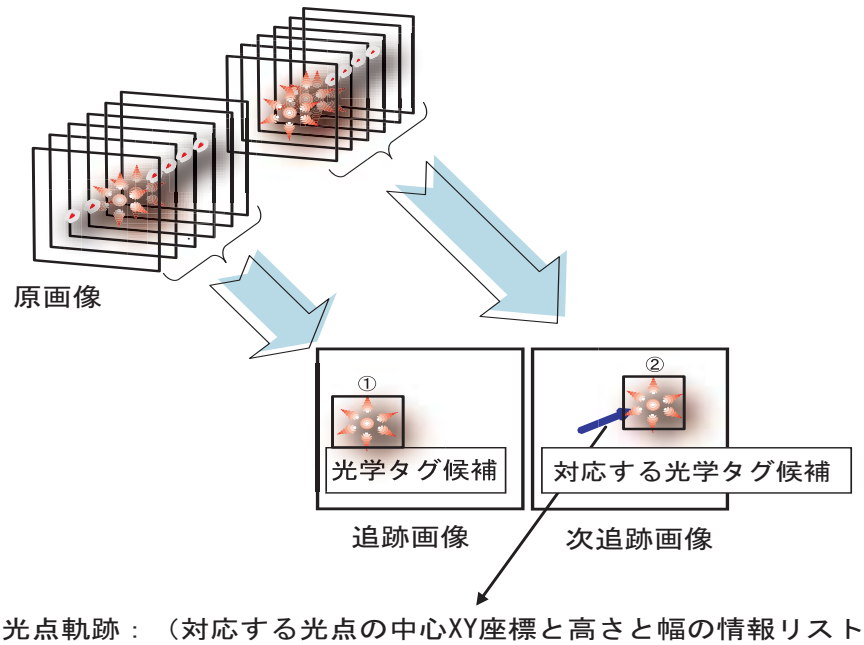


図 2.9: 光点軌跡

2.4.7. 光学タグのデコード処理

光学タグ候補の追跡処理は光学タグの点灯を含む最小フレーム数毎 (マンチェスター符号方式ならば 6 フレーム) におこなっている。しかし、光学タグのデコード処理は、原画像のフレーム毎におこなわなければならない。このため、光学タグ候補の追跡処理により作成した光点軌跡を連続する原画像のフレームに変換する。そして、この原画像中の光点軌跡をもとに光学タグの点滅情報を検出し、ID 情報のデコードをおこなう。

具体的には，ある追跡画像と次追跡画像で求められた光点軌跡のＸＹ座標を均等 (光学タグの点灯を含む最小フレーム数) に分割し、光点軌跡の補間をおこなう。そして、この補間された光点軌跡をそれぞれ対応する原画像のフレームに変換する。

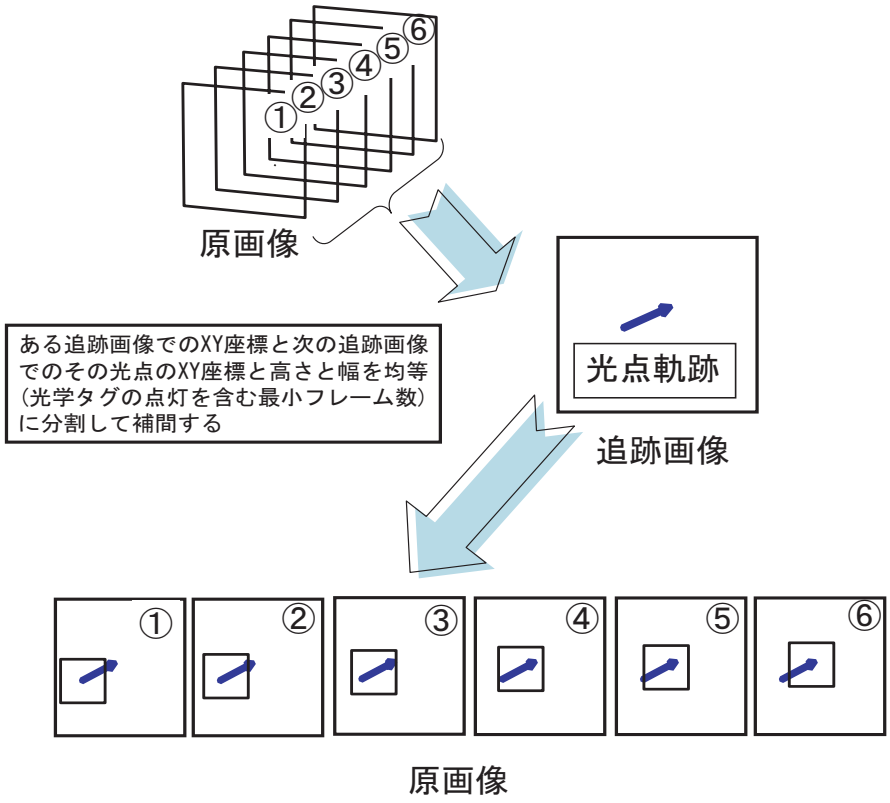


図 2.10: 光点軌跡の原画像への変換処理

次に、光学タグの ID 情報のデコードをおこなうため、原画像のフレームに変換された光点軌跡を用いて光学タグの点滅を検出する (図 2.10)。光学タグが点灯しているか消灯しているかの判定は，原画像の光点軌跡中の輝点が，ある一定割合以上で存在しているかどうかによっておこなう．ある一定割合の決定方法はいくつか存在するが，例えば，原画像の光点軌跡中のすべての輝点の割合から閾値を決定することができる．そして、ある光点タグ候補に対する原画像の光点軌跡中での光が閾値を超えた場合を 1 , 超えない場合を 0 とする。

このように、光学タグの点滅から 1,0 のビット列の検出をおこない、光学タグの ID 情報の送信開始を意味するスタートビット (例えば、1 のビットが 8 回連続したビット列) を検出する。スタートビットを検出することができた場合は、その後のビット列を検出して ID 情報の組み立てをおこなう。そして、ID 情報の組み立てに成功したものを光学タグと同定する．また、チェックサムの検定に合格しない場合はノイズとして除去する．

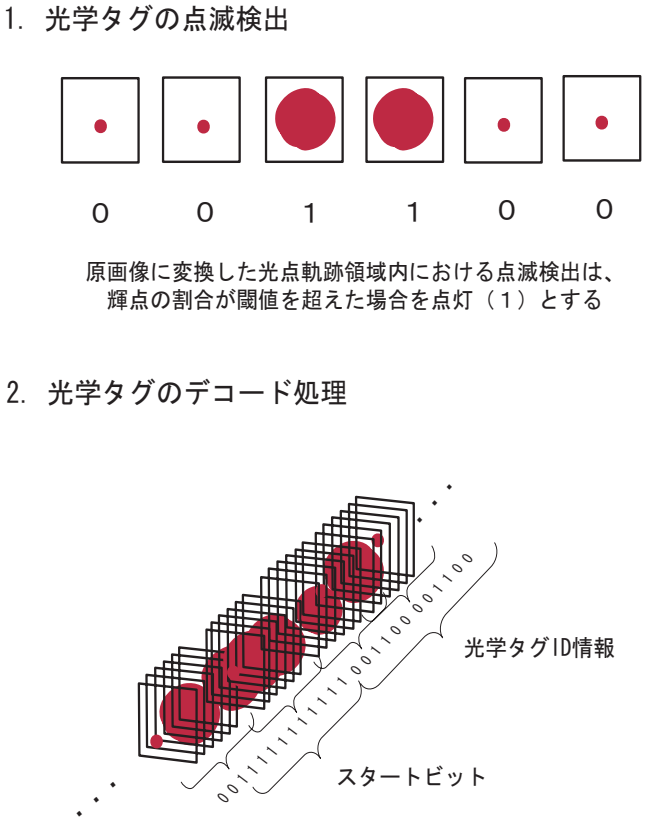


図 2.11: 光学タグのデコード処理

3.4.8. 光学タグの点灯除去

光学タグとして識別することができた光点軌跡内の XY 座標を ID とともに保持する。そして、光学タグのデコード中に点灯していると判定された原画像の画像領域を直近に存在する消灯していると判定された同じ光学タグの原画像の画像領域と画像置換をおこなう。このような処理により、光学タグの点灯を取り除くことができる (図 2.12)。

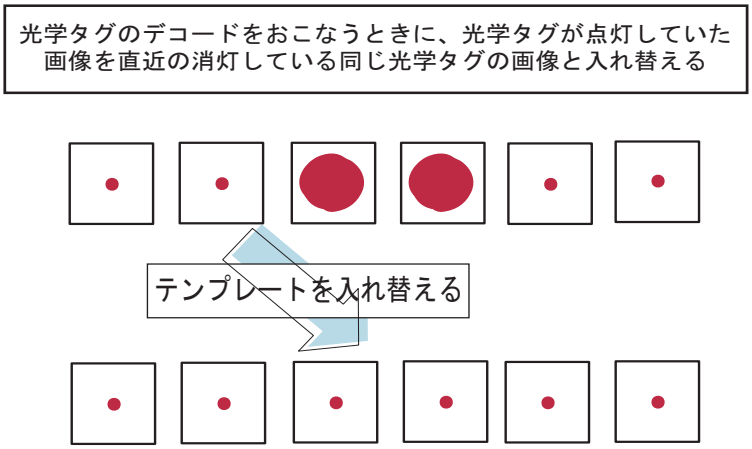


図 2.12: 点灯除去

以上の処理により、光学タグのデコード中に光学タグが移動しても ID 情報を取得すること、目障りな光学タグの点滅をなくした映像を取得することが可能となる (図 2.13)。また、具体的な処理の流れを図 2.14 に示す。

図 2.13: 出力映像

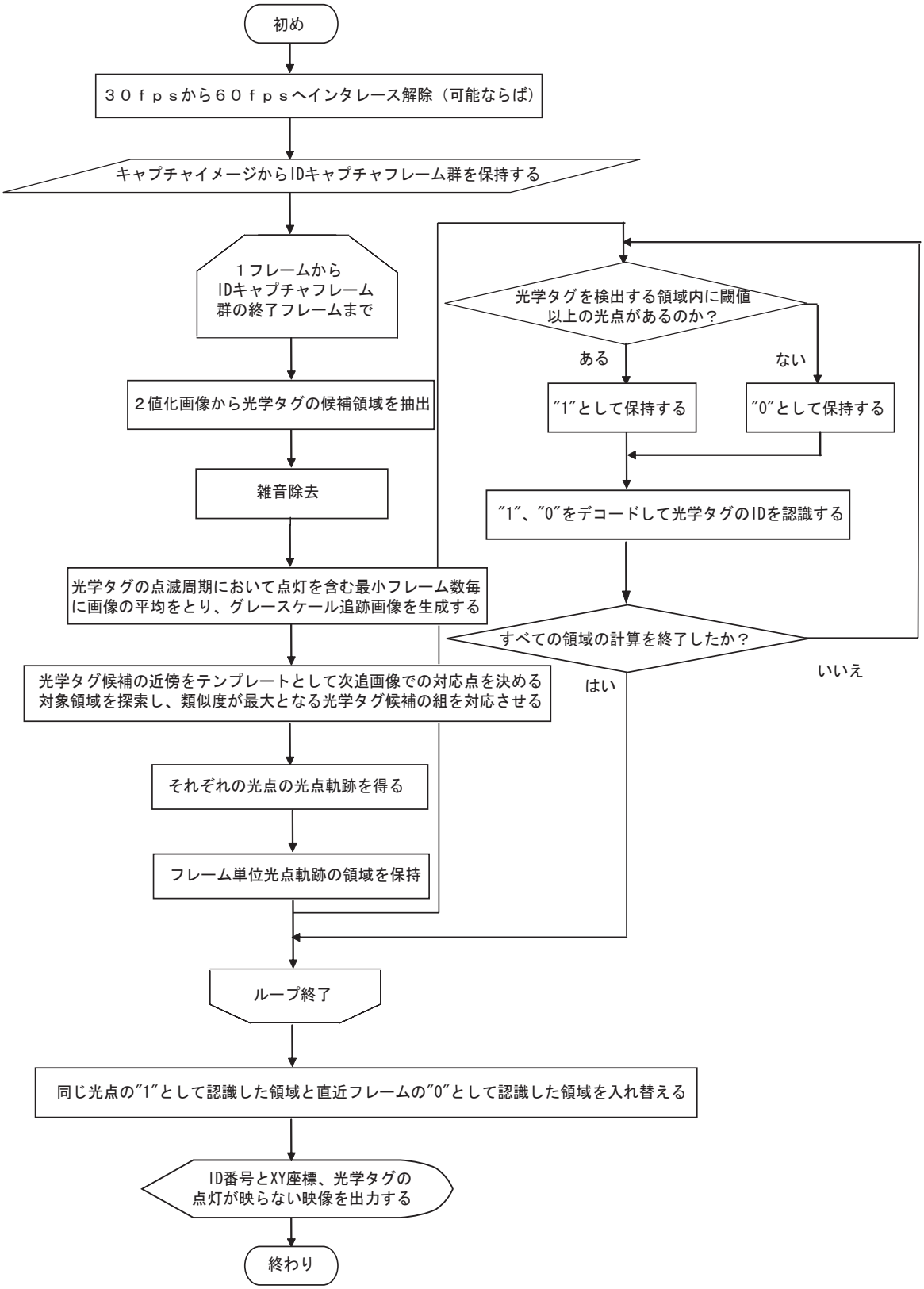

初め
３０ｆｐｓから６０ｆｐｓへインタレース解除（可能ならば）
キャプチャイメージからIDキャプチャフレーム群を保持する
１フレームから
IDキャプチャフレーム
群の終了フレームまで
２値化画像から光学タグの候補領域を抽出
雑音除去
光学タグの点滅周期において点灯を含む最小フレーム数毎に画像の平均をとり、グレースケール追跡画像を生成する
光学タグ候補の近傍をテンプレートとして次追画像での対応点を決める
対象領域を探索し、類似度が最大となる光学タグ候補の組を対応させる
それぞれの光点の光点軌跡を得る
フレーム単位光点軌跡の領域を保持
光学タグを検出する領域内に閾値
以上の光点があるのか？
ある
ない
″1″として保持する
″0″として保持する
″1″、″0″をデコードして光学タグのIDを認識する
すべての領域の計算を終了したか？
はい
いいえ
ループ終了
同じ光点の″1″として認識した領域と直近フレームの″0″として認識した領域を入れ替える
ID番号とXY座標、光学タグの
点灯が映らない映像を出力する
終わり

図 2.14: 処理フロー

第3章　評価実験

本手法を実装し、次の項目について評価をおこなった。

1. 光学タグの追跡速度
2. 光学タグの最大識別距離
3. 光学タグの点灯除去

3.1. 本手法の実装

ビデオカメラ

本研究で使用したビデオカメラは、小型無線カメラである (株) アールエフ製 TINY-3H を用いる (図 3.1)。このカメラのフレームレートは 29.97[frame per second] であるが、映像信号がインタレース信号であるために 59.94[frame per second] のフレームを取得することができる。また、このカメラは赤外線を除去するための光学フィルタが内臓されていないため、可視光領域から赤外領域を撮像することが可能である。このため、可視光 LED と赤外線 LED を抽出することが可能である。

図 3.1: ビデオカメラ

表 3.1 ビデオカメラの仕様

映像信号	インタレース信号
画素数	27万画素
画角	65°
サイズ	17×18×75(mm)
電波到達範囲	30m

光学タグ

本研究で使用した光学タグは、点滅制御ユニットとしてのマイコンと赤外線 LED を用いている。(図 3.2) 点滅制御ユニットとしてのマイコンは、4MHz 駆動の Atmel AT90S2323 を使用している。ビデオカメラのフレーム取得は毎秒 60 フレーム程度であるため、ビデオカメラによって観測可能な範囲の点滅パターンは十分に表現できる。このマイコンに点滅制御プログラムを書き込むためには、まず、Atmel が無料で配布する開発環境である AVR Studio を利用しプログラムを作る。そして、次にこのプログラムを秋月電子製の AKI-AVR プログラマキットを用いて書き込む。また、光学タグの赤外線 LED には、スタンレー電気株式会社製の比較的指向性の弱い DN311 を用いる。これは、予備実験で指向性の高い DN304 を用いてみたが、LED がビデオカメラに対して真正面に向いている状況以外では識別が困難であったためである。

図 3.2: 光学タグ

計算機

本研究で使用した計算機は、Pentium4 3GHz、メモリ 1GMB、OS に Windows 2000 Server を搭載した PC でおこなった。また、提案手法のプログラムは、MicroSoft 社の開発環境である Visual C++ 6.0、Microsoft DirectX SDK、OpenCV(Intel Open Source Computer Vision Library) を用いて記述、作成した。

ビデオカメラからの映像は、IEEE1394 インタフェースを利用して PC に映像を取り込む。ここで、ビデオカメラからの映像はアナログ形式であるため、IO-DATA 製の GV-1394TV/M を利用してアナログ－ DV 変換をおこなう。

3.2. 実験方法

光学タグを識別することのできる追跡速度やその識別率を計測するために、Robovie-M に取り付けてあるサーボモータによるパン・チルト機構 (図 3.3) にビデオカメラを搭載させた。このサーボモータは速度制御をおこなうことが可能なため、計測したい追跡速度を再現性よく実現することができる。そして、実験環境 [3.3 実験環境] のある対象に光学タグを設置し (図 3.3)、この光学タグを識別させた。

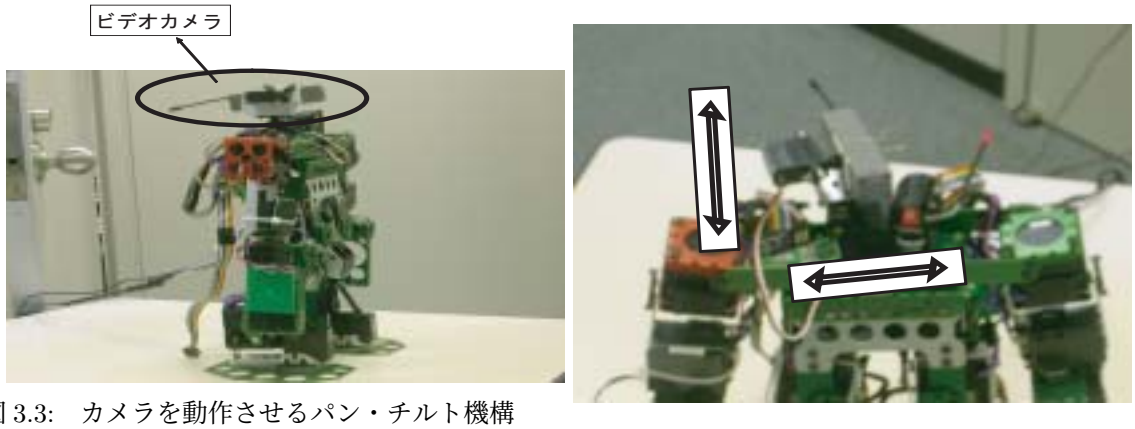


図 3.3:　カメラを動作させるパン・チルト機構

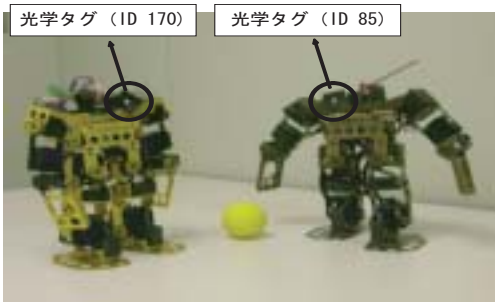


図 3.4: 対象となる光学タグ

光学タグを識別することのできる追跡速度を計測するための実験は、光学タグとビデオカメラとの距離を 2、4、6、8、10m に設定した。そして、その距離に対してビデオカメラの角速度を 0、7、10、15、20、25、30、35[deg/sec] で動作させた。この動作をそれぞれ水平、垂直方向に対しておこない、光学タグに ID を 100 回繰り返して送信させる。そして、そのときの識別率を計測した。つまり、以下のパラメータを変更し、各 100 回試行をおこなった。

表 3.2 追跡実験パラメータ

光学タグとカメラとの距離	２，４，６，８，１０［m］
カメラの角速度	0，7，10，15，20，25，30，35［deg/sec］
カメラの移動方向	水平・垂直方向

次に、光学タグを識別することができる最大識別距離を計測するために、光学タグとビデオカメラとの距離を 5、10、15、20、25m と設定した。そして、光学タグに ID を 100 回繰り返して送信させ、その識別率を計測した。

3.3. 実験環境

実験環境を図 3.5 に示す。実験は、ATR 知能ロボティクス研究所の実験室にておこなった。この実験室は、蛍光灯が敷設されている通常のオフィス環境である。また、この実験室は外から直射日光が差し込むことはない。しかしながら、光学タグの最大認識距離を計測する実験では、この実験環境では測定できない。このため、この実験は廊下にておこなった (図 3.6)。この廊下も蛍光灯が敷設されており、外からの直射日光が差し込むことはない。

図 3.5: 実験環境 (追跡速度を計測)

図 3.6: 実験環境 (最大認識距離を計測)

3.4. 実験結果

3.4.1. 光学タグを識別することのできる追跡速度とその識別率

光学タグを識別することのできる水平方向の追跡速度とその識別率の関係の図 3.7 に示す。まず、カメラが静止しているときの識別率についてみると、光学タグの識別率は 85〜90 %であった。また、2〜10m の範囲であれば、識別率の変化は少なかった (図 3.7　〜　)。

カメラが動作しているときの識別率については、カメラと光学タグとの距離が 4m 以下では, カメラの角速度がおよそ 15[deg/sec] の場合は識別率が 70〜80 %であった (図 3.7　)。また, 光学タグとの距離を 8m 以下にした場合でも, カメラの角速度がおよそ 10[deg/sec] のときの識別率は 75〜80 %であった (図 3.7　)。ただし、光学タグとの距離に関わらず, カメラの角速度がおよそ 30[deg/sec] 以上の場合は識別率が低かった (図 3.7　〜　). また、光学タグとの距離が 10m では、カメラの角速度がおよそ 7[deg/sec] の場合でも識別率が低かった (図 3.7　)。

カメラの移動方向が垂直方向の場合の追跡速度とその識別率の関係を図 3.8 に示す。垂直方向における追跡速度やその識別率は、水平方向と比べてあまり違いがなかった。

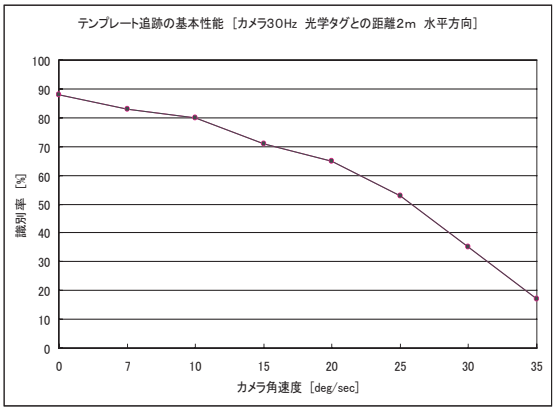
図４から読み取れることは以下の通り：

・2〜10m の範囲でのカメラが静止しているときの光学タグの識別率は高い。

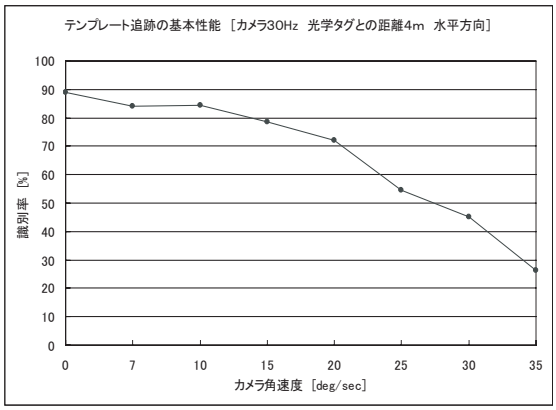
・カメラと光学タグとの距離が 4m 以下で, カメラの角速度がおよそ 15[deg/sec] の場合や 8m 以下の場合でも, カメラの角速度がおよそ 10[deg/sec] のときのは識別率が高い。

・カメラの角速度がおよそ 30[deg/sec] 以上では、カメラと光学タグの距離に関わらず識別率は低い。

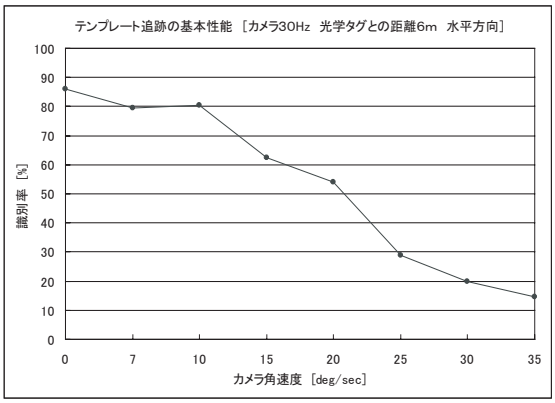
①



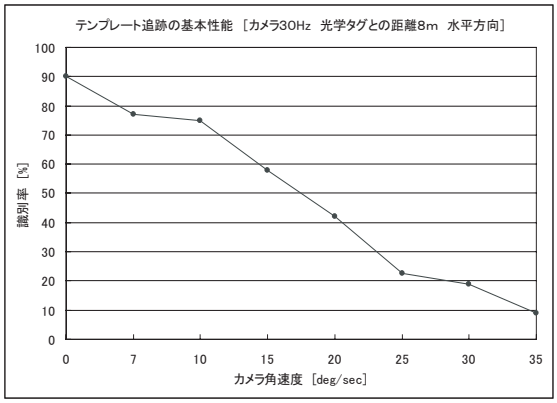
②



③



④



⑤

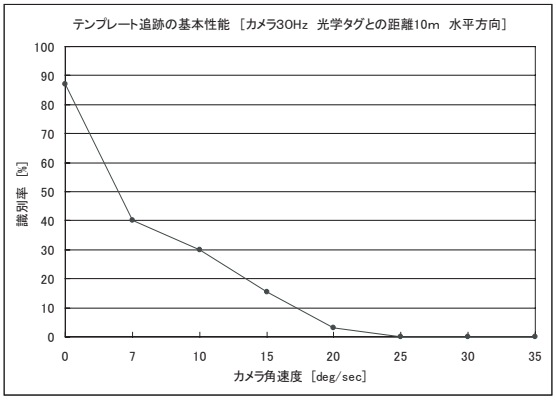
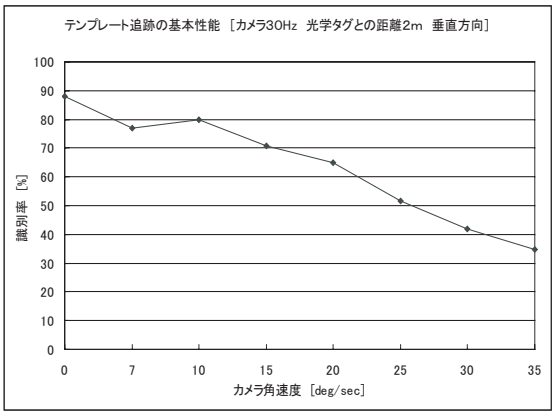
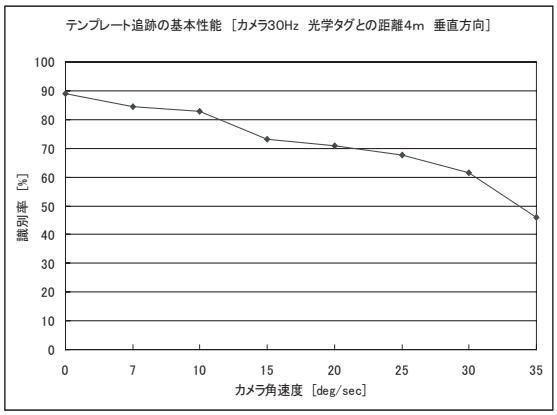


図 3.7:テンプレート追跡の性能（水平方向）

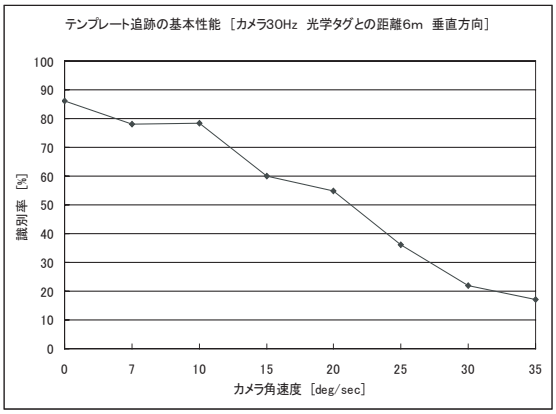
①



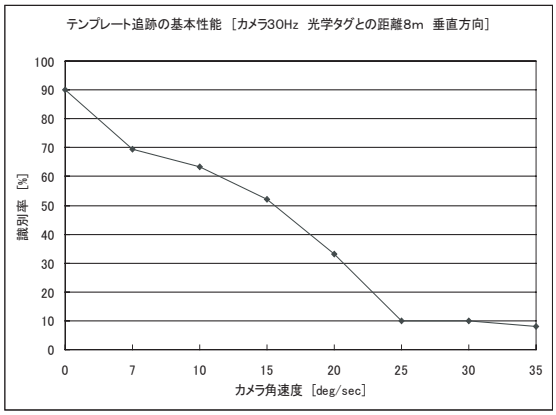
②



③



④



⑤

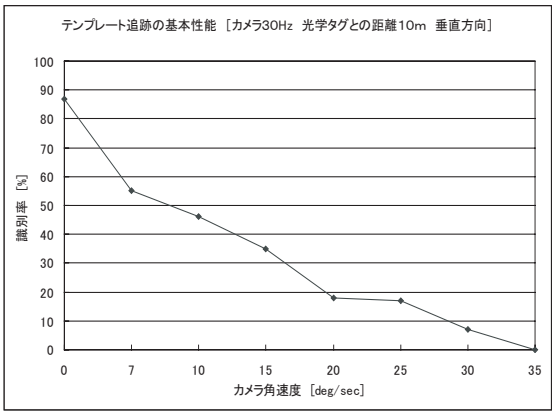


図 3.8:テンプレート追跡の性能（垂直方向）

3.4.2. 光学タグを識別することができる最大識別距離

光学タグとカメラとの距離と識別率の関係の図 3.9 に示す。光学タグとカメラとの距離がおよそ 15m 以内の場合の識別率についてみてみると、光学タグの識別率は 85〜90 %であった。しかし、距離が 20m 場合の識別率は 55 %であり、距離が 25m の場合では光学タグを識別することができなかった。

図４から、光学タグとカメラとの距離が 15m 以内では、高い確率で光学タグを識別できていることがわかる。

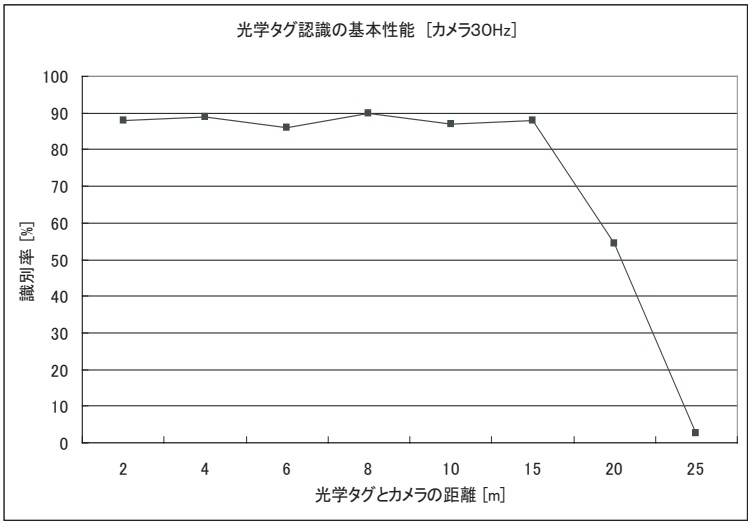


図 3.9 光学タグとの距離と識別率の関係

3.4.3. 光学タグの点灯除去

カメラが撮像したある入力画像を図 3.10 に示す。その後、光学タグのデコード中にカメラ移動した場合での出力画像を図 3.11 に示す。図 3.10 についてみてみると、まだ光学タグは識別されてはいない。そして、光学タグの点灯がカメラに撮像されている様子がみられる。しかし、図 3.11 についてみてみると、光学タグの ID 情報が識別されているようすが見てとれる。そして、光学タグの点灯が除去されていることがわかる。

図 3.10 及び図 3.11 から、光学タグの点灯が映らない通常映像を得ることが可能であることがわかる。

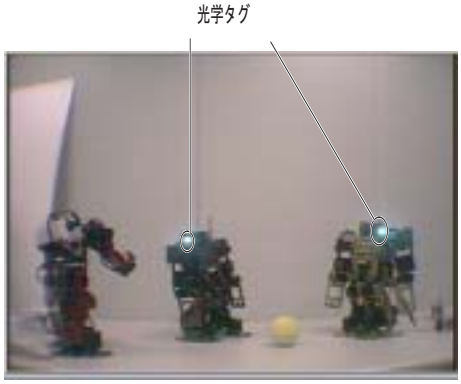


図 3.10: 入力映像

図 3.11: 出力映像

3.5. 分析

これまでみてきた実験結果をもとに、本手法の分析をおこなう

3.5.1. 光学タグを識別することのできる追跡速度とその識別率の関係

実験結果から、カメラと光学タグとの距離が 4m 以下で, カメラの角速度がおよそ 15[deg/sec] の場合や 8m 以下の場合でも, カメラの角速度がおよそ 10[deg/sec] のときのは識別率が高いということが示された (図 3.7　)。この結果から、追跡及び識別することができる移動物体の速度を求めることができる。たとえば、カメラと光学タグとの距離が 4 m で、カメラの角速度が 15[deg/sec] のときは、3.9[km/h] となる。また、光学タグとの距離が 8m でカメラの角速度が 10[deg/sec] のときは、およそ 5.1[km/h] となる。

これは、市販品のカメラを用いた場合でも、光学タグの近傍をテンプレートとして、歩行 (人の歩行速度：およそ 4km/h) などの移動物体に装着されている光学タグの追跡をおこない、その光点軌跡を求める。そして、この光点軌跡から光学タグの ID 情報を取得することを可能とするという本手法の有効性を示している。

このように市販されているビデオカメラでも、移動物体に装着されている光学タグを識別することが可能であるため、移動体での利用もビデオ図れるという利点がある (図 4.5)。

ただし、カメラの角速度がおよそ 30[deg/sec] 以上では、カメラと光学タグの距離に関わらず識別率は低い (図 3.7)。このことは、至近距離 (2m 未満) で高速に移動する対象や走って移動する対象 (人の走る速度：およそ 20km/h) の光学タグは追跡及び識別が困難になることを示している。この追跡及び識別が困難になる原因として、2 つの理由が考えられる。1 つは、追跡画像 (図 2.7) を生成するときに同一の光学タグが分離してしまい、光点軌跡をうまく作りだすことができない場合である。もう 1 つは、無線カメラを用いているために生じるノイズの影響がある場合である。この場合は、有線カメラを用いることによってノイズの影響を抑えることができる。よって、次の節に追実験として本手法の有線カメラへの実装とその結果を示す。

3.5.2. 光学タグを識別することのできる距離と識別率の関係

実験結果から、光学タグとカメラの距離が 15m 以内では、高い確率で光学タグを識別することができることがわかる。。これは、光学タグとカメラとの距離が離れた場合でも、光学タグの点滅を判別することができる距離であれば、光学タグの ID 情報を取得することを可能とするという本手法の有効性を示している。つまり、光学タグの配置形状に依存する場合は、光学タグとの距離 (数 m) が離れると中心にあるデータ送信用の LED の光とその周囲に配置されている LED の光が区別できなくなる。また、遠距離からの識別をおこなうためにはタグの形状を大きくする必要がある。しかし、本手法は光学タグとの距離が離れて数画素程度しか撮像されない場合でも、光学タグの特徴が抽出できる距離 (およそ 15m) であれば光学タグを識別することができるという利点がある。

3.5.3. 光学タグの点灯除去

実験結果から、１台のビデオカメラを用いた場合でも、光学タグの点灯が映らない通常映像を得ること、光学タグの ID 情報を識別することが可能であることがわかる (図 3.11)。これは、抽出された光学タグ近傍のテンプレートを使用し、光学タグのデコード中に点灯していると判定された領域のテンプレートと直近に存在する消灯していると判定された領域のテンプレートとの画像置換をおこない、光学タグの点灯を取り除くことができるという本手法の有効性を示している。赤外線 ID センサシステムの手法と本手法を比較すると、ビデオカメラ 1 台でビデオサマリ用の映像と光学タグを識別することが可能であるため、ウェアラブル端末として小型化が図れるという利点がある (図 3.12)。

図 3.12: 赤外線 ID センサシステムの手法と本手法のカメラの比較

3.6. 追加実験

有線カメラを用いて、本手法の実装をおこなった。有線カメラ（図 3.13）はソニー製の EVI D-30(NTSC 信号、38 万画素、高速パン・チルト機能付き) を用いた。この有線カメラと無線カメラを用いた場合での識別率の比較を図 3.14 に示す。有線カメラを用いた場合は、カメラの角速度が 25[deg/sec] 以内を見てみると、0〜5 %未満の識別率の差しかない。カメラの角速度が 30[deg/sec] 以上の場合では、有線カメラを用いた方が、無線カメラを用いた方に比べ識別率は高く 40〜45 %であった。しかしながら、全体的に光学タグの識別率に大きな違いはなかった。つまり, 前節で述べた光学タグの追跡及び識別が困難になる原因としては, カメラの角速度が 30[deg/sec] 以上の場合は無線カメラのノイズが多少影響すると考えられるが, 追跡画像から光点軌跡をうまく作り出すことができなくなることが主な原因として考えられる。

図 3.13: 有線カメラ

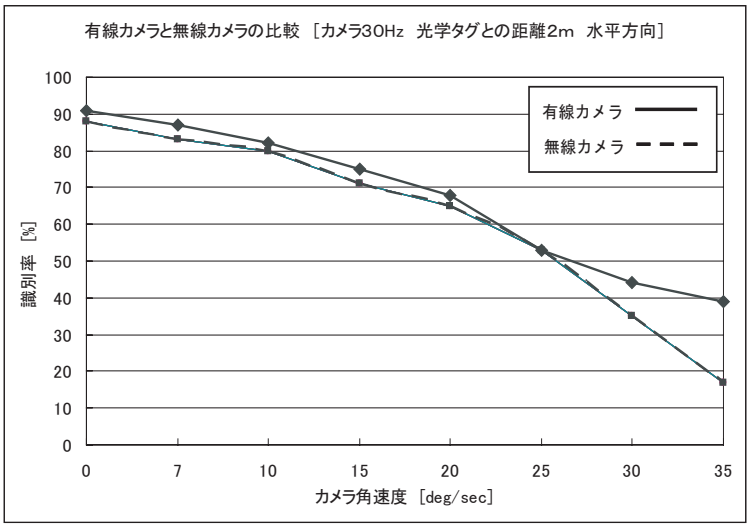


図 3.14: 有線カメラと無線カメラとの識別率の比較

第4章　結論

4.1 本研究のまとめ

本研究では光学タグの候補の近傍をテンプレートとして光学タグを追跡及び光学タグの情報を識別するとともにそのタグの点灯を除去するソフトウェア的アプローチを示した。このアプローチの特徴は、専用機材を用いることなく移動物体のタグ情報を識別及び追跡する点と、単一ビデオカメラでも光学タグの点滅のない通常映像を取得できる点にある.

今回、提案した手法を市販品の小型無線カメラを用いて実装し、そのカメラをサーボモータによるパン・チルト機構で動作させることで、屋内環境の事物に設置した光学タグを識別させた。そして、光学タグを識別することのできる追跡速度やその識別率を計測し、本手法の評価をおこなった。

その結果、光学タグとの距離が 4m では、カメラの角速度がおよそ 15[deg/sec] の場合は識別率が高かった。また、光学タグとの距離を 8m にした場合でも、カメラの角速度がおよそ 10[deg/sec] のときの識別率は高かった。つまり、光学タグのデコード中に歩行などの移動している対象 (およそ 4km/h) を十分に識別できる性能があることを示している。そしてさらには、光学タグの点灯が映らない通常映像を得ることも可能であった。ただし、光学タグとの距離に関わらず、カメラの角速度がおよそ 25[deg/sec] 以上の場合は識別率が低かった。このことは、至近距離で移動する対象や走って移動する対象 (およそ 20km/h) は識別が困難になることを示している。この識別が困難になる原因として二つの理由が考えられる。一つは、無線カメラを用いているために生じるノイズの影響がある場合。もう一つは、追跡画像を生成するときに同一の光学タグが分離してしまい、光点軌跡をうまく作り出すことができない場合である。前者の場合、有線カメラを用いることによってノイズの影響を抑えることができる。有線カメラを用いた結果は、無線カメラを用いた場合に比べカメラの角速度がおよそ 30[deg/sec] 以上の場合は識別率が若干高かったが、大きな違いはなかった。つまり、識別が困難になる原因としては、カメラの角速度が 30[deg/sec] 以上の場合は無線カメラのノイズが多少影響すると考えられるが、追跡画像から光点軌跡をうまく作り出すことができなくなることが主な原因として挙げられる。

これらの結果からソフトウェア的処理により光学タグの点灯を除去して通常映像を取得すること、市販品のビデオカメラを用いた場合でも光学タグのデコード中に歩行動作などをおこなっている対象の光学タグ情報を識別及び追跡できることがわかった。

4.2. 今後の課題

テンプレート追跡による光学タグ認識の手法における大きな課題は、大きく分けて 3 つあると考えている。それらは、移動速度が速い対象への対応に関するもの、ノイズの影響への

対応に関するもの、光学タグの残光への対応に関するものである。以下に、より光学タグの識別及び追跡性能の高い手法の構築に向けた今後の課題を挙げる。

移動速度が速い対象への対応

本手法の評価実験から、移動速度が速い対象の場合は光学タグの識別及び追跡が困難になることがわかった。これは、追跡画像を生成するときに同一の光学タグが分離してしまい、光点軌跡をうまく作り出すことができないためである。従って、追跡画像を生成するときに同一の光学タグが分離した場合でも同一のものと認識し、光点軌跡を作成することができるような新たな手法が望まれる。

ノイズの影響への対応

蛍光灯等の反射光や無線カメラを用いることによって生じるノイズの影響により、光学タグを誤認識することがあった。これは、光学タグ候補同士の類似度や追跡画像中に存在する光学タグ候補を包み込む長方形とその長方形を含むある大きさの領域 (長方形と同形状、同大の長方形を一コマとする九近傍) をテンプレートとして、次の追跡画像中の光学タグ候補とのテンプレート同士のマッチングによって対応関係を決定しているために生じる。つまり、光学タグとノイズの近傍の情報や大きさの類似度が高い場合には、誤って認識してしまう可能性があるためである。このため、本手法に光学タグの動き予測を取り入れることができれば、よりノイズの影響を抑えたロバストなシステムの構築も期待できる。

光学タグの残光への対応

普通の明るさの照明環境の屋内では、光学タグをおよそ 10m の距離でも認識可能であった。しかし、15m 以上離れた場合は光学タグを撮像することは可能であったが識別率が低下した。光学タグは点灯から消灯に切り替わるときに残光が残るが、通常は光学タグの点灯時の画素数と残光の画素数の差が大きいため、容易に区別することができる。しかし、遠くで光学タグが点灯した場合は、点灯時の画素数と残光の画素数を区別することが困難になるために識別率が低下する。この課題を解決するためには、まず、光学タグの動作特性を調査して、その特性にあわせたタイミングでの光学タグの点滅や識別方法が必要となってくる。この調査と、その特性にあわせた点滅や識別方法の構築は今後の課題である。

識別数についての評価

今回用意することのできた光学タグに限りがあったため、光学タグを同時に識別することができる数についての十分な評価をしていない。今後、実環境での応用を考えた場合には、この同時に識別すること可能な識別数などについても評価をおこなう必要もある。

4.3. 今後の展望

本研究では、ソフトウェア的処理により、光学タグの点灯を除去して、通常映像中の光学タグの追跡及び識別が可能であることが示された。今後、本手法を適用することができると考えられる応用分野をいくつか紹介し、本論文を締めくくる。

・ロボットの物体・位置識別システム

現状の画像処理技術などによるロボット制御では、人間の生活環境に存在する様々な対象物を識別するまでに至っていない。そこで、本手法をロボットのイメージセンサに適用し、光学タグを装着した対象物を識別及び追跡することにより簡便にロボットの物体・位置識別システムを構築することが可能になるであろう。また、本手法は必ずしも専用機材を必要としないことから、既にロボットに実装されているイメージセンサを用いたり、カメラの小型化も図れるため、積載重量の少ない小型移動ロボットのイメージセンサにも適用することが可能であろう。

・光学タグを用いた身体動作のキャプチャリングシステム

モーションキャプチャは生体の動きを外部から正確に計測することができるため、技能習得における身体動作の解析をおこなうために用いられている。この解析を基に身体動作の教示システムを構築する場合は、従来のモーションキャプチャのような高い精度は必要とせず、特定の身体の動きをある程度計測することが可能な安価なシステムが望まれる。そこで、本手法は光学タグの追跡に基づくことや光学タグの情報を識別することができるために、実環境でも使用できる安価なキャプチャリングシステムを構築することが期待できる。

本研究に関する発表論文

査読付き国内会議

[1] 田浦善弘, 坂本竜基, 篠沢一彦, 小暮潔, 藤波努, テンプレート追跡による光学タグ認識, インタラクション 2004, ヒューマンインターフェース研究会, 2004 年 3 月.(印刷中)

謝辞

本研究を進めるにあたっては，多くの方々に多大なご支援をいただきました．まず、ご多忙の中、貴重な時間を割いて丁寧親切な御指導、御鞭撻と格別のご配慮を賜りました、指導教官の藤波努助教授には大変お世話になりました。ここに深く感謝の気持ちを表したいと思います.

創造性開発システム論講座の國藤進教授には、研究活動や講義を通じて大変お世話になりました。篤く御礼申し上げます。國藤教授をはじめ、吉田武稔教授、西本一志助教授には、本論文の審査の際にも審査員として大変貴重なコメントをいただきました。ありがとうございました。

また、本研究の実施にあたり，国際電気通信基礎技術研究所 (ＡＴＲ) 知能ロボティクス研究所にて、研究の機会を与えて頂いた萩田紀博氏、小暮潔氏、坂本竜基氏に感謝致します。また、同研究所において、大変お世話になった篠沢一彦氏に感謝致します。このうち、小暮潔氏、坂本竜基氏、篠沢一彦氏には、論文投稿時にも貴重な御指導を賜りました。また、坂本竜基氏には、常に有益なご意見を頂くだけではなく、公私にわたり大変お世話になりました。篠沢一彦氏には本研究を進めるにあたり、日頃から貴重なコメントを頂戴いたしました。ここに深く感謝致します。

創造性開発システム論講座の皆様や山本和幸助手には、常日頃から研究に関する助言や議論を重ねていただき，研究活動以外の面でも大変にお世話になりました．こころから感謝します.

平成 16 年 4 月 30 日

田浦　善弘

参考文献

[1] 椎尾一郎.RFID を利用したユーザ位置検出システム. 情報処理学会研究報告, pp.45-50,May 2000. 00-HI-88.

[2]R.Want,A.Hopper,V.Falcao,and J.Gibbons.The Avtive Badge Location System. in ACM Transactions on Information Systems,pp.91-102,ORL,24a Trumpington Street,Cambridge CB2 1QA,1992.

[3]J.Rekimoto and K.Nagano. The World Through the Computer Augumented Interaction with Real World Enviroments. in ACM Symposium on User Interface Software and Technology(UIST'95),pp29-36,1995.

[4] 松下伸行, 日原大輔, 後輝幸, 吉村真一, 暦本純一.ID Cam:シーンと ID を同時に取得可能なイメージセンサ. インタラクション 2002 pp.9-16

[5] 青木恒．カメラで読み取る赤外線タグとその応用．インタラクティブシステムとソフトウェア VIII，pp.131-136

[6] 伊藤禎宣，角康之，間瀬健二． 赤外線 ID センサを用いた設置・着用型インタラクション記録装置． インタラクション 2003 pp.237-238

[7]D. J. Moore, R. Want, L. Harrison, A. Gujar, and K,Fishkin , Implementing Phicons: CombiningComputer Vison with InfraRed Technology forInteractive Physical Icons. UIST '99，pp.67-68，1999

[8] 金谷健一, 金沢靖, テンプレートマッチングによる対応探索の自動しきいち値設定法。コンピュータビジョンとイメージメディア, アブストラクト No.132 - 004

[9] 市村直行． フレーム間の特徴点に基づく特徴点の追跡. コンピュータビジョンとイメージメディア,2001

[10] 菅谷保之, 金谷健一． 運動物体分離にためのカメラモデルの自動選択、コンピュータビジョンとイメージメディア

[11] 谷内田正彦, コンピュータビジョン, 丸善

[12] 金谷健一, 画像理解, 森北出版株式会社

[13]TRY PC, 動画処理と Windows プログラミング,2003

参考文献